

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулович, Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учеб. пос. / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Мн.: Новое знание; М: ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. Горанский, Г. К. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах

подготовки производства / Г. К. Горанский, Э. И. Бендерова. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2004. – 415 с.
4. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.

УДК 541.133.08:519.8

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.05.2012

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ ПРОГРАММНЫМ СПОСОБОМ

Н.В. Исаеня, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Предложен алгоритм вычисления коэффициентов настройки прибора для измерения концентрации моющих растворов на основе обработки экспериментально полученной таблицы их проводимости в зависимости от концентрации и температуры.

The method of adjustment coefficients calculation of a device based on the experimentally obtained table of solution conductivity versus concentration and temperature is proposed.

Введение

При ремонте двигателей внутреннего сгорания после разборки их предварительно отмывают в моющих растворах от всевозможных загрязнений и нагара. Основным фактором ухудшения моющей способности растворов, применяемых на ремонтных заводах в процессе их эксплуатации, является истощение моющих средств в результате их взаимодействия с загрязненными поверхностями и разбавление растворов водой для компенсации их естественной убыли. Поэтому для определения концентрации в процессе мойки необходимо постоянно осуществлять отбор проб моющего раствора, и в лаборатории завода путем химического анализа определять его концентрацию с целью добавления моющего средства. В связи с этим большое значение приобретает контроль концентрации экспресс-методом непосредственно во время технологического процесса мойки. Кроме того, поддержание оптимальной концентрации может обеспечить регламентируемое качество очистки и исключить перерасход моющих средств, а в перспективе датчик концентрации раствора будет одним из основных элементов системы автоматического регулирования концентрации моющего средства в растворе.

Так как синтетические моющие средства являются электролитами, то за основной информационный параметр их концентрации в растворе целесообразно принять проводимость растворов, которая представляет собой величину, обратную удельному сопротивлению, и измеряется в сименс/сантиметрах. Кроме того, кондуктометрический метод измерения концентрации на основе электропроводности широко применяется в химической и кондитерской промыш-

ленности, крахмало-паточном производстве, сахарной промышленности и т. д., так как их жидкие продукты тоже принадлежат к проводникам второго рода, т. е. электролитам. Однако существенное влияние на значения проводимости оказывает температура растворов, которое необходимо устранить.

Основная часть

Экспериментально полученная таблица проводимости моющего раствора МС-8 в зависимости от его концентрации и температуры приведена в табл. 1. Анализ данной таблицы показывает, что при фиксированных концентрациях с изменением температуры от 20 до 70 °С проводимость раствора изменяется приблизительно в 2,5 раза. В общем виде для любого раствора таблица проводимостей состоит из *n* строк (по количеству значений температуры) и *m* столбцов (по количеству значений концентрации) (табл. 2). Идея состоит в том, что в экспериментально полу-

Таблица 1. Экспериментальная таблица проводимости моющего раствора МС-8 в зависимости от концентрации и температуры

Температура, T °С	Концентрация раствора, N г/л					
	5	10	15	20	25	30
20	0,23	0,46	0,69	0,9	1,11	1,32
30	0,32	0,61	0,89	1,18	1,45	1,7
40	0,42	0,73	1,1	1,43	1,75	2,05
50	0,5	0,89	1,31	1,7	2,07	2,42
60	0,58	1,05	1,51	1,95	2,38	2,78
70	0,65	1,21	1,71	2,2	2,68	3,14

ченной таблице проводимости раствора X_{ij} (табл.2) при фиксированных концентрациях N_j необходимо устранить влияние температуры раствора T_i , а затем по ней и рассчитать параметры настройки прибора.

Таблица 2. Общий вид таблицы проводимости моющего раствора

$N, \text{ г/л}$ $T, \text{ }^\circ\text{C}$	N_1	N_2	...	N_j	...	N_m
T_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1m}
T_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2j}	...	X_{2m}
...
T_i	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}	...	X_{im}
...
T_n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nj}	...	X_{nm}

Кроме того, согласно [1], проводимость X с изменением температуры T при постоянных значениях концентрации N также приближенно определяется линейной зависимостью

$$X = X_0 + KT,$$

где X_0 – проводимость при 0°C , а K – температурный коэффициент проводимости данного раствора. В таком случае значение проводимости для каждого j -го столбца с изменением температуры T_i определяется зависимостью: $X_j = D_j + E_j T_i$, где $D_j = X_0$ и $E_j = K_j$ для каждого столбца будет свое.

Тогда для постоянных концентраций N_j проводимость каждого столбца с изменением его номера j будет задаваться формулой

$$X_{ij} = D_j + E_j T_i = D_j(1 + E_j / D_j T_i) = D_j(1 + \alpha_j T_i), \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha_j = E_j / D_j.$$

Поэтому получив на основании табл. 1 сначала значения аппроксимирующих коэффициентов D_j и E_j , целесообразно перейти к параметрам аппроксимации D_j и α_j , так как параметр α_j обладает, согласно расчетам и графикам концентрации $N_j = f(T)$, меньшим разбросом для различных N_j .

Так как проводимость каждого столбца таблицы в зависимости от температуры близка к линейной, применим формулы для расчета коэффициентов аппроксимации линейной функции $y = f(z) = a + bz$ по методу наименьших квадратов:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (z_i y_i) - \sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2} \quad \text{и} \quad a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n z_i}{n}.$$

Поэтому коэффициенты E_j и D_j для каждого столбца будут рассчитываться аналогично коэффициентам b и a линейной функции по выражениям

$$E_j = \frac{n \sum_{i=1}^n x_{ij} t_i - \sum_{i=1}^n x_{ij} \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2},$$

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} - E_j \sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \text{и} \quad \alpha_j = \frac{E_j}{D_j}$$

в результате программной обработки таблицы по столбцам и строкам.

Определив в полученном диапазоне α_{\min} и α_{\max} , этот диапазон разбивается на K интервалов с шагом $d\alpha = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) / K$ и формируется массив из k значений α с данным интервалом $d\alpha$ ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$). Затем для каждого из этих α определяется новая промежуточная таблица значений проводимости XP_{ij} согласно формуле (1)

$$XP_{ij} = D_j(1 + \alpha_j T_i), \quad i = 1, n; j = 1, m. \quad (2)$$

Всего будет получено k таких таблиц. Для каждой из этих таблиц определяется суммарная ошибка по всем строкам и столбцам между полученными по формуле (2) проводимостями и их истинными проводимостями, взятыми из табл. 1. В результате такой программной обработки будет получен массив ошибок S для различных α (всех их k значений). Затем среди всего множества этих S находится наименьшее и его номер. Этот номер и будет номером того α , которое согласно формуле (2) осуществляет температурную компенсацию проводимости. В результате изложенной выше методики расчета обработки исходной табл. 1 при $k=20$ получено $\alpha = 0,06657$. Так как в выражении (1) D_j есть стабилизированное значение проводимости, то при найденном α , обеспечивающем стабилизацию проводимостей по температуре, стабилизированные проводимости XS_{ij} согласно выражению (1) будут описываться формулой

$$XS_{ij} = \frac{X_{ij}}{1 + \alpha T_i}, \quad i = 1, n; j = 1, m. \quad (3)$$

Тогда в результате программной обработки проводимостей по всем строкам и столбцам табл. 1 при данном значении α получена новая табл. (3) проводимостей, скомпенсированных по температуре.

В данной таблице, например, при концентрации 5 г/л с изменением температуры от 20 до 70 градусов проводимость увеличилась в 1,16 раза, а в исходной табл. 1 – в 2,8 раза.

Таблица 3. Скомпенсированная по температуре таблица проводимостей

Температура, $T, \text{ }^\circ\text{C}$	Концентрация раствора, $N, \text{ г/л}$					
	5	10	15	20	25	30
20	0,099	0,197	0,296	0,386	0,476	0,566
30	0,107	0,204	0,297	0,394	0,484	0,567
40	0,115	0,199	0,300	0,39	0,478	0,56
50	0,116	0,206	0,303	0,393	0,478	0,559
60	0,116	0,210	0,302	0,39	0,477	0,557
70	0,115	0,214	0,302	0,389	0,473	0,555

Таблица 4. Истинная концентрация раствора, полученная на основании рассчитанных параметров a, b, c и α

Концентрация, полученная в результате расчетов по коэффициентам a, b и c	Температура T °С	Истинная концентрация раствора, N г/л					
		5	10	15	20	25	30
	20	4,51	9,328	14,68	19,746	24,984	30,394
	30	4,599	9,66	14,734	20,186	25,439	30,457
	40	5,005	9,435	14,921	19,996	25,082	29,998
	50	5,048	9,771	15,05	20,13	25,109	29,961
	60	5,08	10,018	15,033	19,998	25,010	29,813
	70	5,014	10,208	15,021	19,898	24,083	29,7

Так как согласно [1], концентрация N через проводимость X при постоянной температуре T определяется квадратичной зависимостью $N = ax^2 + bx + c$, то для стабилизированных по температуре значений проводимости N_j (табл. 3) для каждой из строк таблицы находим

$$N_j = a_j X S_{ij}^2 + b_j X S_{ij} + c_j, \quad j = 1, m.$$

Аппроксимирующие промежуточные коэффициенты a_j, b_j и c_j рассчитываются методом наименьших квадратов для каждой строки табл. 3 на основании формул аппроксимации экспериментальных данных квадратичной зависимостью $y = ax^2 + bx + c$. В результате будет получено n значений a, b и c для каждой строки, скомпенсированной по температуре (табл. 3). Аналогично расчету α определяется a_{\min} и a_{\max}, b_{\min} и b_{\max}, c_{\min} и c_{\max} . Потом каждый из диапазонов изменения a, b и c от их минимального до максимального значений разбивается на k интервалов с шагом $da = (a_{\max} - a_{\min})/k, db = (b_{\max} - b_{\min})/k$ и $dc = (c_{\max} - c_{\min})/k$. Для каждого a, b и c формируется массив из k коэффициентов: $a = a + da, b = b + db$ и $c = c + dc$, где первоначальное значение $a = a_{\min}, b = b_{\min}$ и $c = c_{\min}$. Потом многократно вложенным циклом на основании табл. 3, скомпенсированной по температуре, создается множество виртуальных таблиц проводимостей, состоящих из n строк и m столбцов (всех таблиц будет $k \times k \times k = k^3$). Для каждой из них определяется суммарная ошибка в % между расчетными значениями концентрации по формуле (3) и их табличными значениями N_j . Из множества этих ошибок находится номер того a, b и c , где эта ошибка минимальная. По результатам такой обработки табл. 3 при $k=20$ получены следующие значения: $a=10,61, b=49,01$ и $c=-0,75$. Тогда концентрация раствора с учетом скомпенсированных по температуре прово-

димостей $X S_{ij}$ (табл. 3) на основании формулы (3) будет определяться выражением

$$N_{ij} = \frac{a \cdot X S_{ij}^2}{(1 + \alpha T_i)^2} + \frac{b \cdot X S_{ij}}{1 + \alpha T_i} + c,$$

$$i = 1, n; j = 1, m. \quad (4)$$

В результате программной обработки табл. 3 по выражению (4) при рассчитанных значениях a, b, c и α получены концентрации моющего раствора МС-8 при различных температурах от 20°С до 70°С (табл. 4). Как видно из таблицы, ошибка на границах диапазона концентраций и температур не превышает 10 %.

Увеличив количество интервалов k , например, с 20, при которых сделаны расчеты, до 200 или еще больше, можно повысить точность вычисления a, b, c и α и соответственно повысить точность определения концентрации моющего раствора.

Таким образом, концентрацию моющего раствора можно определять по формуле

$$N = \frac{ax^2}{(1 + \alpha T)^2} + \frac{bx}{1 + \alpha T} + c,$$

где x – проводимость раствора, T – его температура, измеренные в данный момент датчиками проводимости и температуры;

a, b, c и α – параметры, полученные в результате программной обработки экспериментально снятой таблицы проводимости конкретного раствора.

Закключение

В результате программной обработки экспериментальной таблицы проводимости конкретного раствора в зависимости от его концентрации и температуры, по изложенному алгоритму найдены коэффициенты настройки измерительной схемы прибора, позволяющего устранять температурную погрешность и измерять концентрацию раствора на основе его электропроводности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Худякова, Т.А. Кондуктометрический метод анализа / Т.А. Худякова, А.П. Крешков. – М.: Высшая школа, 1975. – С. 207.